

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ МЕТЕОРА НА МОЩНОСТЬ ЭХО-СИГНАЛА

Е. И. ФИАЛКО

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Предварительные замечания

Известно, что мощность сигнала, отраженного от неустойчивого метеорного следа, на входе приемника ε пропорциональна квадрату линейной плотности электронов α

$$\varepsilon \sim \alpha^2. \quad (1)$$

Рассмотрим, как зависят мощность эхо-сигнала, пришедшего из области характеристической высоты h_m , от скорости метеорного тела.

По мнению Кайзера [1], максимальная линейная плотность электронов α_{\max} может зависеть от скорости метеора вследствие того, что от v зависит вероятность ионизации β . Обычно полагают

$$\beta = a \cdot v^x, \quad (2)$$

где a и x не зависят от v .

Сопоставляя (1) и (2), можно было бы прийти к выводу о том, что при увеличении скорости мощность отраженного сигнала увеличивается пропорционально v^{2x}

$$\varepsilon \sim v^{2x}. \quad (3)$$

Однако это наверно. В действительности зависимость ε от v менее сильная. Прежде всего следует учесть, что при увеличении скорости увеличиваются h_m и высота однородной атмосферы H , причем [1]

$$\alpha_{\max} \sim \frac{\beta}{H} W, \quad (4)$$

и, как можно показать, используя зависимости $h_m(v)$ и $H(h_m)$ [1],

$$H = b \cdot v^y, \quad (5)$$

где $b \approx 1^1)$, $y \approx 0,54$. Следовательно,

$$\alpha_{\max} \sim v^{x-y}, \quad \varepsilon \sim v^{2(x-y)}. \quad (6)$$

¹⁾ Размерности коэффициентов пропорциональности опускаем.

Кроме того, изменение h_m влечет за собой изменение наклонной дальности (при данном зенитном расстоянии радианта χ и при облучении области $\alpha \approx \alpha_{\max}$ в условиях нормального отражения радиоволн от метеорного следа). Вследствие этого увеличение скорости приводит к увеличению наклонной дальности и, следовательно, к уменьшению ϵ .

Существенное значение имеет также уменьшение амплитуды эхосигнала вследствие того, что время пролета метеором первой зоны Френеля [1] конечно. С увеличением скорости уменьшается время, необходимое для образования первой зоны Френеля, несмотря на некоторое увеличение наклонной дальности.

Казалось бы, что вследствие этого эффект уменьшения амплитуды эхосигнала, вызываемый диффузией, будет менее резким, чем в случае меньшей скорости v . Однако коэффициент диффузии весьма быстро возрастает с увеличением h и хотя время, в течение которого метеор образует ионизированный след в области первой зоны Френеля, уменьшается, увеличение коэффициента диффузии (вследствие увеличения h_m) может привести к уменьшению ϵ (за счет эффекта конечной скорости метеора).

Возникает, естественно, вопрос, как и насколько изменится мощность эхосигнала при изменении скорости метеора ¹⁾).

Исходные соотношения

Не приводя полного выражения для мощности эхосигнала, учтем лишь те величины, которые зависят от v [1]

$$\epsilon \sim \frac{\alpha^2}{R^3} \cdot \xi. \quad (7)$$

Формула (7) справедлива для случая $\alpha \ll 2,4 \cdot 10^{12}$ эл/см, причем начальный радиус ионизированного следа мал по сравнению с длиной волны.

Коэффициент ξ учитывает уменьшение амплитуды отраженного сигнала вследствие того, что за время образования ионизированного следа в области первой зоны Френеля успевает произойти существенное расширение следа вследствие диффузии. R — наклонная дальность от локатора до участка следа, нормально рассеивающего радиоволны.

Если участок следа, отражающий радиоволны, расположен на высоте $h \approx h_m$, то $\alpha \approx \alpha_{\max}$.

Используя [1], (4), (2) и (5), представим α в виде

$$\alpha = B \cdot \frac{a}{\vartheta} \cdot v^{x-y}, \quad (8)$$

где $B = \frac{4}{9} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot \cos \chi$; m — масса метеора; μ — масса атома метеорного тела. Наклонная дальность $R \sim \frac{h_m}{\sin \chi}$. Аппроксимируя графическую зависимость $h_m(v)$ [1], представим ее в виде

¹⁾ Торможение метеорного тела не учитывается.

$$h_m = d \cdot v^z, \quad (9)$$

где $d \approx 55$; $z \approx 0,15$.

Таким образом,
$$R \sim \frac{d}{\sin \alpha} \cdot v^z. \quad (10)$$

Для раскрытия зависимости коэффициента ξ от v воспользуемся известными данными [1].

Коэффициент $\xi(v)$

В работе [1] приведена графическая зависимость максимальной амплитуды эхо-сигнала в функции

$$\Delta = 16 \pi^2 \cdot D \cdot R^{\frac{1}{2}} (v \cdot \lambda^{\frac{3}{2}})^{-1}, \quad (11)$$

где D — коэффициент диффузии; λ — длина волны.

Обозначим коэффициент, характеризующий уменьшение амплитуды через ξ_1 . Тогда коэффициент, характеризующий уменьшение мощности, ξ будет равен

$$\xi = \xi_1^2. \quad (12)$$

Аппроксимируя $\xi_1(\Delta)$ и учитывая (12), получим

$$\xi(\Delta) = a_1 \cdot \Delta^{x_1}, \quad (13)$$

где $a_1 \approx 0,4$, $x_1 \approx 0,75$.

Зависимость коэффициента диффузии от высоты была определена экспериментально [2]. Аппроксимация зависимости $D(h)$ дает

$$D = a_2 \cdot h^{x_2}, \quad (14)$$

где $a_2 \approx 6,3 \cdot 10^{-27}$; $x_2 \approx 15,7$.

Подставив в формулу (14) выражение для h в форме (9), получим

$$D = a_3 \cdot v^{x_3}, \quad (15)$$

где $a_3 \approx 12,6$, $x_3 \approx 2,36$.

С учетом (15), (10) и (9) выражение (11) после простых преобразований примет вид

$$\Delta = a_4 v^{x_4}, \quad (16)$$

где $x_4 \approx 1,4$; $a_4 \approx \frac{1,5 \cdot 10^4}{\lambda^{3/2}} (\sin \alpha)^{-\frac{1}{2}}$.

Подставив (16) в (13), найдем

$$\xi = a_5 \cdot v^{x_5}, \quad (17)$$

где $x_5 \approx 1,07$; $a_5 \approx 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda^{1,14} \cdot (\sin \alpha)^{0,38}$.

Заметим, что $\xi \sim \frac{1}{v}$, т. е. с увеличением скорости эффект диффузии ослабляет эхо-сигнал.

Подставляя в (7) найденные выражения для $\alpha(v)$, $R(v)$ и $\xi(v)$, т. е. (8), (10) и (17), получим

$$\epsilon \sim a_0 \cdot v^n, \quad (18)$$

где $n = 2(x - 1,3)$, a_0 — коэффициент, не зависящий от v .

Для выяснения количественной зависимости $\epsilon(v)$ необходимо знать численное значение показателя x .

В настоящее время еще нет надежных данных о величине x [3]. Однако, как можно заключить из теоретических работ [4 и др.], величина показателя x близка к 1.

Таким образом, как следует из (18), увеличение скорости метеора приводит к изменению мощности эхо-сигнала, соответствующего области h_m , однако это изменение не столь велико, как это следовало бы из (3).

Дальнейшее рассмотрение $\epsilon(v)$ связано с необходимостью исследования вероятности ионизации в функции скорости метеорного тела $\beta(v)$, а также с учетом начального радиуса метеорного следа.

Некоторые замечания

В ряде случаев представляет интерес определение величины мощности сигнала спустя некоторое время (T) после образования следа $\epsilon(T)$. Это имеет место, например, при измерениях, для осуществления которых требуется время $T \geq T_{\min}$ (и, следовательно, сигнал должен превышать некоторый уровень в течение этого времени).

Полученные выше результаты справедливы для случая высокооперативных систем (T_{\min} весьма мало) [5].

В случае же низкооперативных систем (T_{\min} относительно велико) с увеличением скорости мощность сигнала $\epsilon(T_{\min})$ уменьшается. Это становится ясным, если учесть [6], что

$$\epsilon(T_{\min}) \sim \frac{\alpha^2}{R^3} \cdot \xi \cdot e^{-\frac{4\pi}{\lambda^2}(\rho_H + 4DT_{\min})}, \quad (19)$$

где ρ_H — начальный радиус метеорного следа.

Подробное рассмотрение (19) не входит в задачу данной работы.

Выводы

1. Скорость метеора существенно влияет на мощность эхо-сигнала. В случае приема сигналов, нормально отраженных от области следа с линейной плотностью электронов, близкой к максимальной, мощность эхо-сигнала $\epsilon \sim v^{2(x-1,3)}$; показатель x определяет зависимость вероятности ионизации от скорости метеорного тела $\beta \sim v^x$.

2. Определение количественной зависимости ϵ от v связано с уточнением величины показателя x .

ЛИТЕРАТУРА

1. Kaiser T. R., Radio echo studies of meteor ionization, Phil. Mag., v. 2, No. 8, 495, 1953.
2. Greenhow J. S., Neufeld E. L., The diffusion of ionized meteor trails in the upper atmosphere, Journ. Atm. Terr. Phys., 6, № 2-3, 133, 1955.

3. Hawkins J. S., Meteor ionization and its dependence on velocity, Astr. J. v. 124, No. 1. 311, 1956.
 4. Sida D. W., Atomic collisions in meteor trails, „Meteors“, Ed. by T. R. Kaiser, 26, 1955.
 5. Фиалко Е. И., О влиянии длины волны на эффективность радиолокационного метода исследования метеоров, Труды Сибирского физико-технического института, вып. 37, 219, 1959.
 6. Greenhow J. S. Characteristics of radio echoes from meteor trails, Proc. Phys. Soc., B., v. 65, 1952.
-